心理科学进展 2018, Vol. 26, No. 7, 1186–1192
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2018.01186

视觉表象个体差异及其神经基础*

叶晓燕 [1] 张得龙 [1] 常 松 [2] 刘 鸣 [1]
([1] 华南师范大学心理学院，广州 510631) ([2] 鲁东大学教育科学学院，山东 烟台 264025)

摘 要 视觉表象涉及人类一种重要信息表征方式，与工作记忆和注意相比，视觉表象研究更为关注其所产生的主观内容，而这一主观内容的产生存在明显的个体差异。本文从个体差异的角度，系统介绍了视觉表象个体差异的表现与内在的神经基础及其可能的应用，并展望了未来的研究方向。本研究将有助于对视觉表象个体差异的认识，促进视觉表象功能与实质问题研究的进一步开展。

关键词 表象；图画式表征；个体差异；双眼竞争；功能性核磁共振
分类号 B842

表象(mental imagery)，亦称心像，是事物不在面前时头脑中出现的事物的感性形象。这一感性形象的产生涉及人类独特的信息表征方式，即图画式表征(pictorial representations)。以这类独特的信息表征方式为载体，人类大脑形成了具有“触类旁通”“举一反三”“见微知著”“融会贯通”的心理加工模式，是目前人工智能设备不能复制的。然而，在心理学研究历史上，这一独特信息表征方式的研究一波三折(刘鸣，2004)，出现了著名的“表象之争” (Pearson & Kosslyn, 2015)。“表象之争”主要围绕两个问题展开：第一个问题是表象与视知觉是否具有某些相同的表征，或表象是否仅与更抽象的、知觉后的表征有关(Finke, 1980; Shepard, 1978)。第二个问题是表象的格式究竟是空间的，还是命题性的(Kosslyn, 1980)。因此，在表象表征方式问题的研究中，表象与知觉是否机能等价成为争论的焦点。“表象之争”与表象具有复杂的主观特性而其研究又缺乏客观有效地研究方法不无关系。其中，表象存在明显的个体差异，这也是导致表象实质与功能研究存在分歧不容忽视的因素。有鉴于此，本研究系统归纳了视觉表象个体差异的表现与内在的神经基础，以及可能的应用。以期能够促进心理学研究对表象个体差异的关注，推动表象实质与功能问题研究的进一步开展。

1 表象的个体差异

尽管头脑中产生各种事物形象的现象已经司空见惯，但对这一现象进行科学的描述并非易事。时至今日，将视觉表象与视知觉进行类比分析是对表象属性及其实质研究的基本途径。

1.1 视觉表象清晰度

表象是在记忆基础上对知觉经验的“再体验” (re-experience)。从这个角度，表象往往被称为“弱知觉”，表象拥有和知觉经验类似的属性。因此，表象主观感觉包含知觉信息越多则越清晰，而这一表象清晰度反映了表象与知觉内容的相似程度，两者的相似程度决定了表象的主观生动性，是表象最为重要的属性。

根据被试主观体验报告的表象清晰度成为表象属性最早的研究方法。其中，Galton (1880)的“餐桌回忆法”、Sheehan (1967)的表象问卷以及Marks (1973)的视觉表象生动性量表(Vividness of Visual Imagery Questionnaire, VVIQ)都是其中较具代表性的研究方法。借助上述研究方法，研究者发现视觉表象清晰度存在明显的个体差异，其中，Galton (1880)最早报告被试根据相同指导语产生的视觉表象清晰度存在个体差异，而视觉表象清晰度的个体差异与被试的专业类型(Sacco & Reda, 1998)和性别(Marks, 1973)等因素有关。而且，

收稿日期：2017-06-20
* 国家自然科学基金资助项目(31600907)。
通信作者：刘鸣, E-mail: liuming@scnu.edu.cn

借助上述方法测量被试的视觉表象清晰度与其认知功能(如认知控制力(Cui, Jeter, Yang, Montague, & Eagleman, 2007), 托伦斯创造力(Marks, 1999)等)存在显著相关。表象清晰度的个体差异可能反映了表象策略在大脑信息加工的使用程度(Goldenberg et al., 1989), 其不仅与认知功能密切相关, 而且在很大程度上影响个体的情绪加工过程(Pearson, Naselaris, Holmes, & Kosslyn, 2015)。

尽管借助被试主观内省的方法, 研究者实现了对表象属性的测量, 发现了表象属性存在个体差异的实验证据, 也进一步揭示了表象个体差异与认知、情绪之间的关系, 但基于被试主观报告的研究方法有其先天的不足, 具体论述见我们的一篇综述(刘鸣, 2004)。因此, 如何在研究中对表象的属性及其个体差异之间进行客观化的度量成为表象研究者面临的一个重要问题。

1.2　视觉表象空间信息

在认知心理学领域, 研究者试图对表象属性进行数量化的度量, 视觉表象的空间属性成为研究者关注的核心。为证实视觉表象具有类似知觉的空间属性, 研究者借助认知科学的“抽象分析法”对表象的空间属性与知觉进行了类比分析。其中, 比较著名的研究范式有 Shepard 的心理旋转(Shepard & Metzler, 1971)、Kosslyn 的心理扫描(Kosslyn, 1973)、心理折纸(Shepard & Feng, 1972)等。上述研究范式从信息加工的角度, 借助反应时与错误率等指标, 数量化的探讨了视觉表象作为一种独立的信息表征方式在问题解决中的作用。

认知科学对表象研究的创新范式不仅为视觉表象与知觉的机能等价提供了实验证据, 其数量化指标也为研究者对表象个体差异数量化的度量提供了可操作途径。其实, 早在 1978 年, Vandenberg 和 Kuse (1978)等人借助心理旋转范式就明确指出视觉表象空间信息存在显著的个体差异。而且视觉表象空间信息的个体差异与其工作记忆、执行控制、想象、创造力等高级认知活动关系密切(Ernest, 1977; Knauff, Mulack, Kassubek, Salih, & Greenlee, 2002)。此后, 大量研究证实视觉表象空间信息操作的个体差异受性别(Jordan, Wüstenberg, Heinze, Peters, & Jäncke, 2002)、年龄(Roberts & Bell, 2000)、训练(De & Wolford, 2002)、疾病(Zacks, Michelon, Vettel, & Ojemann, 2004)等因素影响。此外, 研究者从信息加工的角度指出视觉表象空间信息的个体差异及其在认知活动中的作用可能受认知方式的影响(赵晓妮, 游旭群, 2007), 根据认知坐标系的理论模型(Just & Carpenter, 1985), 视觉表象空间信息操作的个体差异与认知坐标系以及认知策略的选择有关。

毋庸置疑, 认知科学范式通过巧妙的实验设计, 从空间信息的角度为视觉表象个体差异的研究提供了一个客观而且可重复的研究指标, 切实推动了研究者对视觉表象个体差异的认识。然而, 值得注意的是, 尽管空间信息是视觉表象区别于概念表征的主要维度, 而且视觉表象的空间信息也被大量研究证实在认知过程中发挥重大作用(Borst & Kosslyn, 2010), 但视觉表象作为独特的心理现象, 其区别于工作记忆与视觉注意的主要特点在于其内容本身带给个体的主观体验。有鉴于此, 如何就视觉表象内容进行数量化度量是研究者不可回避的问题。

1.3　视觉表象内容

就视觉表象内容而言, 头脑产生的形象与知觉到的形象的相似程度是其核心特征, 但头脑产生的形象具有高度的主观性, 采用客观方法进行度量并非易事。前人对视觉表象内容的研究主要借助一种非结构化的白噪音, 研究发现被试在白噪音的干扰下仍可以知觉到字母或脸孔, 而这种觉知源自人脑自上而下加工所产生的视觉表象内容(Gosselin & Schyns, 2003; Hansen, Thompson, Hess, & Ellemberg, 2010; Smith, Gosselin, & Schyns, 2012)。但这种实验范式并不能排除已有知识经验的影响。

近年来, 由于视觉表象与视知觉机能等价, 越来越多研究发现视觉表象对随后特定时间呈现相同内容的视知觉加工产生影响, 而这种影响可以作为数量化考察个体视觉表象内容的途径。而问题的关键在于实验中如何数量化的度量视觉表象对视知觉的影响? 研究者发现视知觉存在明显的双眼竞争现象, 通过个体优势眼的调节使得左右眼知觉到视觉模式出现的比例达到平衡, 在此基础上, 研究者进一步通过视觉表象对随后双眼竞争模式的影响(亦即启动率)检测视觉表象的内容(Bergmann, Genç, Kohler, Singer, & Pearson, 2016)。

借助上述研究逻辑, 研究者提出了表象强度, 以此来客观量化表象内容的生动程度。具体而言,

被试根据给定线索形成表象，并完成表象清晰度的主观评定，然后闪现(750 ms)竞争刺激，并记录被试知觉到的优势刺激，据此可计算表象启动双眼竞争中优势刺激的比率，这一启动率被定义为表象强度。研究者在表象强度的基础上，进一步借助双眼竞争范式考察表象精确性。这里的表象精确性是指表象内容与真实客体在视觉底层特征(比如朝向、位置等)上的一致性。其中，特定位置表象精确性被定义为被试根据给定线索形成特定位置的表象，并完成表象清晰度的主观评定，然后在一致和不一致位置随机闪现竞争刺激，记录被试知觉的优势刺激。一致和不一致条件下启动率的差异程度被定义为特定位置的表象精确性。

表象强度与表象精确性从“视觉能”的角度度量了视觉表象内容对后续知觉的影响程度，与视觉表象空间信息研究使用的指标相比，这两个度量指标更为关注表象内容本身的视觉能量，显而易见这个层次的度量更为全面，生态性与敏感性也更高。借助这两个研究指标，研究者对视觉表象个体差异的实质及其在脑功能中发挥的作用进行了更为深入的探讨。不仅证实了视觉表象个体差异在认知过程中发挥重要作用，如工作记忆(Pearson, Rademaker, & Tong, 2011)与联想过程(Lewis, O’Reilly, Khuu, & Pearson, 2013)，而且发现任务背景亮度的改变会影响表象过程进而影响视觉工作记忆表现(Chang, Lewis, & Pearson, 2013)，进一步证实了视觉表象作为一种策略在认知加工中发挥独特作用。

2 表象个体差异的神经基础

脑成像技术的运用为我们认识表象的神经机制提供了途径，同时也为我们揭示表象个体差异的神经基础提供了可能。由于表象是较为复杂的心理活动过程，其产生、维持与操作涉及如前额叶、顶叶、颞叶和视觉皮层等大量的脑区(Formisano et al., 2002)。尽管如此，表象过程中大脑初级视觉皮层是否激活成为探讨视觉表象是否包含知觉信息的核心问题，具体论述见我们的另一篇综述(常松等, 2017)。当然，目前研究者已证实表象过程是否激活大脑初级视觉皮层与使用的实验材料，实验设计，数据处理方式，被试的任务，仪器设备参数等因素有关，但不容否认的是表象个体差异是导致不同研究结果分歧的重要因素(Reeder, 2016)。

脑成像技术的发展为我们认识表象个体差异的神经基础提供了可能。Goldenberg 等 (1989)最早使用单光子发射断层扫描(SPECT)发现表象主观生动性和前额叶的局部脑血流量成负相关，而和颞下区的脑血流量成正相关。借助 fMRI 技术的研究也发现表象主观生动性和初级视觉皮层的 BOLD 信号变化存在显著正相关(Cui et al., 2007; Olivetti et al., 2009)。此外，大量研究结果表明视觉表象空间信息的操作主要激活大脑的顶叶、枕叶和额叶(Harris & Miniussi, 2006)，而且在性别之间存在显著区别。例如，心理旋转研究发现男性主要激活负责加工空间信息(如顶叶)和表象操作的脑区(如基底核和楔前叶等)，而女性主要激活前额叶的背内侧和其他高级皮层(Butler et al., 2006; Jordan et al., 2002)。最后，研究者进一步借助 fMRI 视网膜皮层映射技术发现视觉表象内容的个体差异可能存在明确的脑结构基础。例如，Bergmann 等(2016)等人发现表象强度与 V1 区表面积大小呈负相关，即 V1 区表面积越小就越可能有强表象；而表象精确性和 V1 区表面积大小呈正相关，其中 V1 区的中心部分和精确性联系最为密切；另外，V1 区的皮层厚度和表象强度没有显著相关，却表现出与表象精确性有一定的相关。

近年来，基于脑成像数据的多体素模式分析方法(Multi-voxel pattern analysis, MVPA)为我们进一步揭示表象个体差异的神经基础提供了全新的研究视角。与传统以激活为基础的单变量数据分析方法不同，多体素模式分析方法将兴趣区内各个体素的信号同时考察，将兴趣区看作一个多维变量，即空间模式来分析脑成像数据所携带的与任务相关的信息(Norman, Polyn, Detre, & Haxby, 2006)。这一数据处理思路的转变充分考虑单个体素特异性以及体素间的相互关系，明显提高了数据处理的敏感性，为表象内容个体化的研究提供了可操作的途径，具体论述见我们的一篇综述(张得龙，梁碧珊，文学，黄瑞旺，刘鸣，2014)。

具体而言，多体素模式分析方法在体素水平上更进一步地探讨知觉与表象条件下大脑激活模式之间的关系，其中最具有代表性的是解码模型和编码模型。早在 2000 年 Craven 等人借助传统的单变量数据分析方法就发现，在特定类别中(例

如，人脸和地点)知觉和表象具有共同的神经基础，而且知觉条件下大脑激活强度更大(O'Craven & Kanwisher, 2000)。近年来借助解码模型，在知觉条件下，可以成功从视觉皮层中将不同类型的刺激进行分类(Peelen, Fei-Fei, & Kastner, 2009)。更为重要的是，知觉条件下刺激训练的分类器可以运用到表象刺激的解码中(Horikawa, Tamaki, Miyawaki, & Kamitani, 2013)。这一发现一方面为表象与知觉的机能等价提供了证据，另一方面也表明在单个被试上采用多体素模式分析方法研究表象的神经基础成为可能。近年来，借助该研究方法，研究者发现视觉表象清晰度的评定等级与表象和知觉在视觉皮层的重叠程度存在显著相关，这为其神经基础提供了实验证据(Dijkstra, Bosch, & van Gerven, 2017)。此外，借助解码模型，研究者实现从大脑神经激活模式中可以动态解码心理旋转角度，为视觉表象空间信息操作的神经基础提供了实验证据(Mourao-Miranda, Ecker, Sato, & Brammer, 2009)。在此基础上，研究者采用编码模型(Kay, Naselaris, Prenger, & Gallant, 2008)更进一步界定了表象内容的实质，编码模型通过将视觉刺激转换到视觉底层特征(位置、朝向等)进行描述，并使用刺激特征模式来预测大脑的激活，从而建立了视觉刺激内容和大脑响应模式之间的函数关系，为我们数量化的度量大脑视觉表征内容提供了途径(Kay et al., 2008)。更为关键的是，在知觉条件下基于单个被试数据所构建的编码模型可以有效泛化到表象模式，从而为表象在初级视觉皮层表征刺激的底层特征提供了直接的实验证据，也为我们在单个被试上界定表象内容提供了可操作的途径(Naselaris, Olman, Stansbury, Ugurbil, & Gallant, 2015)。值得注意，这一发现也从根本上终结了持续几十年的表象之争(Pearson & Kosslyn, 2015)。

总之，以多体素模式分析方法探讨表象神经激活模式与知觉神经激活模式之间的关系，是实现表象内容研究走向个体化的重要途径。

3 表象个体差异的应用

(1)在心理学所有研究主题中，表象是研究分歧最大的领域，出现了著名的“表象之争”。如前所述，表象实质与功能研究存在分歧的影响因素众多，其中个体差异是不容忽视的因素。目前，我们在表象领域的一个基本研究假设是表象的属性和功能在所有被试的信息加工中发挥作用的权重是等价的，亦即，表象在不同被试认知加工中发挥作用程度是同质的。然而，在表象研究中发现，表象作为一种重要的信息加工策略在不同被试的认知加工中发挥作用的程度不尽相同。有鉴于表象个体差异的存在，表象后续研究首先需要在“表象型”与“非表象型”被试、“表象策略”与“非表象策略”等不同群体上进行，研究的相关结论也应该在不同类型群体上进行推论。

(2)表象是一种重要的信息加工策略，在脑功能中发挥独特作用。既然表象在不同个体的脑功能中发挥作用程度不尽相同，其在个体的认知加工与情绪过程中发挥的作用也不尽相同。因此，表象既可用于反映脑功能状态也可用于脑功能模式的调控，具有较大的应用前景。具体而言，表象是在大脑执行控制作用下，借助记忆和注意根据特定认知需求产生的心理加工过程。其中，表象作为心理活动的重要“基石”直接参与记忆、联想、想象与决策等认知过程(Pearson, Clifford, & Tong, 2008)，进而对情绪和意志产生影响，这些影响势必会反映在脑功能上。因此，表象个体差异可以作为评估脑功能状态的一种重要方式(Gross, Crane, & Fredrickson, 2012)。

此外，表象个体差异也可以作为一种干预和预测脑功能的重要途径。近年来，正念(mindfulness)、冥想(meditation)以及实时的神经反馈技术(real-time neural feedback)被广泛应用于抑郁症、双向情感障碍、强迫症、创伤后应激障碍等心理疾病中(McManus, Muse, Surawy, Hackmann, & Williams, 2015)。而表象在这些技术中起核心作用，具体而言这些技术主要通过修改脑海中消极表象的脚本，或产生积极表象，又或者占用视空资源使得负性的情景记忆固化率降低。因此对表象能力的界定在很大程度上可以预测以表象为基础的脑功能状态的发展变化趋势(Blackwell et al., 2013)。

4 展望

借助多体素模式分析的数据分析方法，已经为表象实质和功能问题提供了一个全新的研究视角。但考虑到表象个体差异的存在，未来相关研究需要进一步考虑如下 2 个基本问题：

(1)随着研究者对表象内容度量追求的深入，加之当前基于功能性核磁共振技术方法的不断发展，在大脑特定皮层探讨视觉表象内容与视觉刺激具体特征之间的数量化函数关系逐渐成为可能。毫无疑问，能够精准到特定视觉特征在视觉表象内容中的神经表征是认知神经科学最接近表象内容神经基础的度量。与此同时，借助双眼竞争范式，认知科学从信息加工角度对视觉表象内容的度量也不断被证实客观有效，并逐渐在相关问题的研究中发挥重要作用。因此，将目前最接近表象本质的神经编码技术与表象认知研究最新的行为范式(双眼竞争)相结合，是推动表象个体差异研究的关键。

(2)近年来，越来越多的研究证实大脑不单纯是外界刺激驱动的“信息加工器”，大脑静息态自发波动模式在脑功能中发挥重要作用(Reichle, 2010)。大脑静息态的自发波动属性可以预测个体任务态的表现(Tavor et al., 2016)。而另一方面，已有研究证实，在静息状态下，头脑中更容易浮现各类形象(Wang et al., 2008)，这意味着表象可能与大脑静息态下记忆信息的固化存在关联，进而对脑功能产生影响。因此，探讨静息态自发波动属性与表象之间的关系将从全新的角度促进对表象个体差异实质的认识。

参考文献

常松，张得龙，潘京花，梁碧珊，黄瑞旺，刘鸣．(2017). 初级视觉皮层在表象表征方式研究中的作用．*心理科学*, *40*(2), 335–340.

刘鸣. (2004). 表象研究方法论．*心理科学*, *27*(2), 258–260.

张得龙，梁碧珊，文学，黄瑞旺，刘鸣．(2014). 视觉表象可视化——视觉表象研究的新途径．*心理科学*, *37*(3), 573–580.

赵晓妮，游旭群. (2007). 场认知方式对心理旋转影响的实验研究．*应用心理学*, *13*(4), 334–340.

Bergmann, J., Genç, E., Kohler, A., Singer, W., & Pearson, J. (2016). Smaller primary visual cortex is associated with stronger, but less precise mental imagery. *Cerebral Cortex*, *26*(9), 3838–3850.

Blackwell, S. E., Rius-Ottenheim, N., Schulte-van Maaren, Y. W. M., Carlier, I. V. E., Middelkoop, V. D., Zitman, F. G., ... Giltay, E. J. (2013). Optimism and mental imagery: A possible cognitive marker to promote well-being? *Psychiatry Research*, *206*(1), 56–61.

Borst, G., & Kosslyn, S. M. (2010). Individual differences in spatial mental imagery. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *63*(10), 2031–2050.

Butler, T., Imperato-Mcginley, J., Pan, H., Voyer, D., Cordero, J., Zhu, Y. S., ... Silbersweig, D. (2006). Sex differences in mental rotation: Top-down versus bottom-up processing. *NeuroImage*, *32*(1), 445–456.

Chang, S., Lewis, D. E., & Pearson, J. (2013). The functional effects of color perception and color imagery. *Journal of Vision*, *13*(10), 227–232.

Cui, X., Jeter, C. B., Yang, D., Montague, P. R., & Eagleman, D. M. (2007). Vividness of mental imagery: Individual variability can be measured objectively. *Vision Research*, *47*(4), 474–478.

De, L. R., & Wolford, J. L. (2002). Improving children's mental rotation accuracy with computer game playing. *The Journal of Genetic Psychology*, *163*(3), 272–282.

Dijkstra, N., Bosch, S., & van Gerven, M. A. J. (2017). Vividness of visual imagery depends on the neural overlap with perception in visual areas. *Journal of Neuroscience*, *37*(5), 1367–1373.

Ernest, C. H. (1977). Imagery ability and cognition: A critical review. *Journal of Mentaz Imagery*, *1*(2), 181–215.

Finke, R. A. (1980). Levels of equivalence in imagery and perception. *Psychological Review*, *87*(2), 113–132.

Formisano, E., Linden, D. E. J., Di Salle, F., Trojano, L., Esposito, F., Sack, A. T., ... Goebel, R. (2002). Tracking the mind's image in the brain I: Time-resolved fMRI during visuospatial mental imagery. *Neuron*, *35*(1), 185–194.

Galton, F. (1880). Visualised numerals. *Nature*, *21*(533), 252–256.

Goldenberg, G., Podreka, I., Steiner, M., Willmes, K., Suess, E., & Deecke, L. (1989). Regional cerebral blood flow patterns in visual imagery. *Neuropsychologia*, *27*(5), 641–664.

Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2003). Superstitious perceptions reveal properties of internal representations. *Psychological Science*, *14*(5), 505–509.

Gross, M. M., Crane, E. A., & Fredrickson, B. L. (2012). Effort-Shape and kinematic assessment of bodily expression of emotion during gait. *Human Movement Science*, *31*(1), 202–221.

Hansen, B. C., Thompson, B., Hess, R. F., & Ellemberg, D. (2010). Extracting the internal representation of faces from human brain activity: an analogue to reverse correlation. *NeuroImage*, *51*(1), 373–390.

Harris, I., & Miniussi, C. (2006). Parietal lobe contribution to mental rotation demonstrated with rTMS. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*(3), 315–323.

Horikawa, T., Tamaki, M., Miyawaki, Y., & Kamitani, Y.

(2013). Neural decoding of visual imagery during sleep. *Science, 340*(6132), 639–642.

Jordan, K., Wüstenberg, T., Heinze, H. J., Peters, M., & Jäncke, L. (2002). Women and men exhibit different cortical activation patterns during mental rotation tasks. *Neuropsychologia, 40*(13), 2397–2408.

Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1985). Cognitive coordinate systems: Accounts of mental rotation and individual differences in spatial ability. *Psychological Review, 92*(2), 137–172.

Kay, K. N., Naselaris, T., Prenger, R. J., & Gallant, J. L. (2008). Identifying natural images from human brain activity. *Nature, 452*(7185), 352–355.

Knauff, M., Mulack, T., Kassubek, J., Salih, H. R., & Greenlee, M. W. (2002). Spatial imagery in deductive reasoning: A functional MRI study. *Cognitive Brain Research, 13*(2), 203–212.

Kosslyn, S. M. (1973). Scanning visual images: Some structural implications. *Perception & Psychophysics, 14*(1), 90–94.

Kosslyn, S. M. (1980). Image and mind. *Proceedings of the fourth international workshop on software reusability*, Cambridge, MA.

Lewis, D. E., O'Reilly, M. J., Khuu, S. K., & Pearson, J. (2013). Conditioning the mind's eye associative learning with voluntary mental imagery. *Clinical Psychological Science, 1*(4), 390–400.

Marks, D. F. (1973). Visual imagery differences in the recall of pictures. *British Journal of Psychology, 64*(1), 17–24.

Marks, D. F. (1999). Consciousness, mental imagery and action. *British Journal of Psychology, 90*(4), 567–585.

McManus, F., Muse, K., Surawy, C., Hackmann, A., & Williams, J. M. G. (2015). Relating differently to intrusive images: The impact of mindfulness-based cognitive therapy (MBCT) on intrusive images in patients with severe health anxiety (hypochondriasis). *Mindfulness, 6*(4), 788–796.

Mourao-Miranda, J., Ecker, C., Sato, J., & Brammer, M. (2009). Dynamic changes in the mental rotation network revealed by pattern recognition analysis of fMRI data. *Journal of Cognitive Neuroscience, 21*(5), 890–904.

Naselaris, T., Olman, C. A., Stansbury, D. E., Ugurbil, K., & Gallant, J. L. (2015). A voxel-wise encoding model for early visual areas decodes mental images of remembered scenes. *NeuroImage, 105*, 215–228.

Norman, K. A., Polyn, S. M., Detre, G. J., & Haxby, J. V. (2006). Beyond mind-reading: Multi-voxel pattern analysis of fMRI data. *Trends in Cognitive Sciences, 10*(9), 424–430.

O'Craven, K. M., & Kanwisher, N. (2000). Mental imagery of faces and places activates corresponding stimulus-specific brain regions. *Journal of Cognitive Neuroscience, 12*(6), 1013–1023.

Olivetti, B. M., Palmiero, M., Sestieri, C., Nardo, D., Di Matteo, R., Londei, A., ... Romani, G. L. (2009). An fMRI investigation on image generation in different sensory modalities: The influence of vividness. *Acta Psychologica, 132*(2), 190–200.

Pearson, J., Naselaris, T., Holmes, E., A., & Kosslyn, S. M. (2015). Mental imagery: Functional mechanisms and clinical applications. *Trends in Cognitive Sciences, 19*(10), 590–602.

Pearson, J., Clifford, C. W., & Tong, F. (2008). The functional impact of mental imagery on conscious perception. *Current Biology, 18*(13), 982–986.

Pearson, J., & Kosslyn, S. M. (2015). The heterogeneity of mental representation: Ending the imagery debate. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 112*(33), 10089–10092.

Pearson, J., Rademaker, R. L., & Tong, F. (2011). Evaluating the mind's eye: The metacognition of visual imagery. *Psychological Science, 22*(12), 1535–1542.

Peelen, M. V., Fei-Fei, L., & Kastner, S. (2009). Neural mechanisms of rapid natural scene categorization in human visual cortex. *Nature, 460*(7251), 94–97.

Reeder, R. R. (2016). Individual differences shape the content of visual representations. *Vision Research, 41*, 266–281.

Reichle, M. E. (2010). Two views of brain function. *Trends in Cognitive Sciences, 14*(4), 180–190.

Roberts, J. E., & Bell, M. A. (2000). Sex differences on a mental rotation task: Variations in electroencephalogram hemispheric activation between children and college students. *Developmental Neuropsychology, 17*(2), 199–223.

Sheehan, P. W. (1967). A shortened form of Betts' questionnaire upon mental imagery. *Journal of Clinical Psychology, 23*(3), 386.

Shepard, R. N. (1978). The mental image. *American Psychologist, 33*(2), 125–137.

Shepard, R. N., & Feng, C. (1972). A chronometric study of mental paper folding. *Cognitive Psychology, 3*(2), 228–243.

Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science, 171*(3972), 701–703.

Smith, M. L., Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2012). Measuring internal representations from behavioral and brain data. *Current Biology, 22*(3), 191–196.

Tavor, I., Jones, O. P., Mars, R. B., Smith, S. M., Behrens, T. E., & Jbabdi, S. (2016). Task-free MRI predicts individual

differences in brain activity during task performance. *Science, 352*(6282), 216–220.

Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills, 47*(2), 599–604.

Wang, K., Jiang, T., Yu, C. S., Tian, L., Li, J., Liu, Y., ... Li, K. C. (2008). Spontaneous activity associated with primary visual cortex: A resting-state fMRI study. *Cerebral Cortex, 18*(3), 697–704.

Zacks, J. M., Michelon, P., Vettel, J. M., & Ojemann, J. G. (2004). Functional reorganization of spatial transformations after a parietal lesion. *Neurology, 63*(2), 287–292.

The individual difference of visual mental imagery and its neural basis

YE Xiaoyan[1]; ZHANG Delong[1]; CHANG Song[2]; LIU Ming[1]

([1] *School of Psychology, South China Normal University, Guangzhou* 510631, *China*)

([2] *School of Educational science, Lu Dong University, Yantai* 264025, *China*)

Abstract: Visual mental imagery is an important way of information representation for human being. Compared with working memory and attention, visual mental imagery sheds more light on the subjective contents which are different strikingly among individuals. With the perspective of individual differences, we review the various individual performances and the underlying neural basis of visual mental imagery. We also explore some potential applications and future directions of visual mental imagery. This review will lead to a better understanding of the nature of individual differences in visual mental imagery and accelerate the development in the research field.

Key words: mental imagery; pictorial representations; individual difference; binocular rivalry; fMRI